

Ref. 3

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-289943

(43)Date of publication of application : 04.10.2002

(51)Int.Cl. H01L 43/08
G01R 33/09
G11B 5/39
H01F 10/32

(21)Application number : 2001-088231

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 26.03.2001

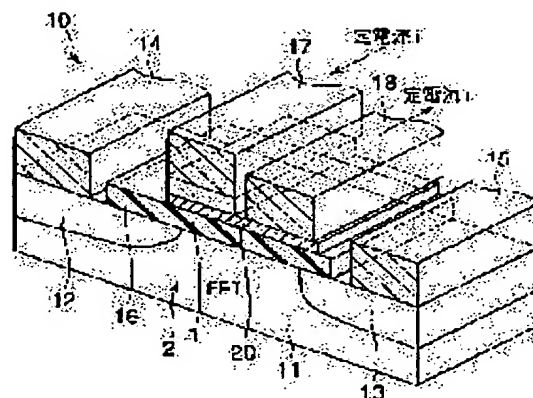
(72)Inventor : SAITO YOSHIAKI
MIZUSHIMA KOICHI

(54) MAGNETIC SENSOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a magnetoresistance effect magnetic sensor of high MR ratio.

SOLUTION: An MOSFET 2 comprises a source region 12, a drain region 13, and a base electrode 20, which acts as a gate electrode and is formed through a gate insulating film 16, on a semiconductor substrate 11. A TMR element 1 is formed to adjoin a gate lead-out electrode 18, while separated from it, on the base electrode 20, with a bias electrode 17 being formed on its upper surface to feed a constant current. With this configuration, the TMR element 1 is applied with a constant current to change a gate device of the MOSFET 2, and an output, in which an MR ratio of the TMR element 1 is amplified, is obtained as the source/drain current of the MOSFET 2.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

06.02.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-289943

(P2002-289943A)

(43) 公開日 平成14年10月4日 (2002. 10. 4)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テ-マコ-ト (参考)

H 0 1 L 43/08

H 0 1 L 43/08

Z 2 G 0 1 7

G 0 1 R 33/09

G 1 1 B 5/39

5 D 0 3 4

G 1 1 B 5/39

H 0 1 F 10/32

5 E 0 4 9

H 0 1 F 10/32

G 0 1 R 33/06

R

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2001-88231(P2001-88231)

(22) 出願日 平成13年3月26日 (2001. 3. 26)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72) 発明者 斉藤 好昭

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 水島 公一

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 東芝リサーチコンサルティング株式会社内

(74) 代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

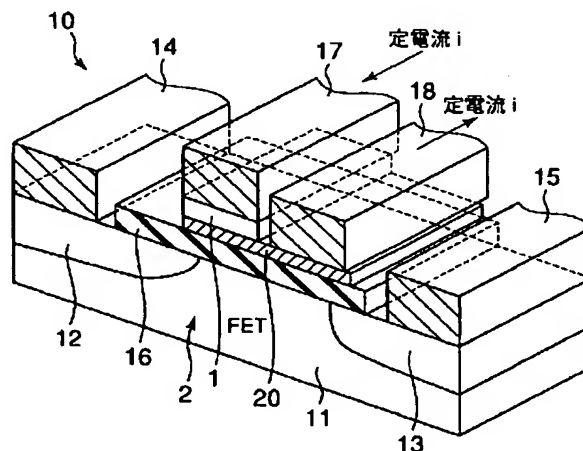
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気センサー

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 MR比の大きい磁気抵抗効果型磁気センサーを提供する。

【解決手段】 MOSFET 2は半導体基板 11に形成されたソース領域 12、ドレイン領域 13、ゲート絶縁膜 16を介して形成されたゲート電極としての下地電極 20により構成されている。TMR素子 1は下地電極 20上にゲート引き出し電極 18と隣接しかつ離隔して形成され、その上面には定電流を流し込むバイアス電極 17が形成されている。上記構成において、TMR素子 1に定電流を流し、MOSFET 2のゲートデバイスを変化させ、TMR素子 1のMR比を増幅した出力をMOSFET 2のソース・ドレイン電流として得る。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板と、

前記半導体基板表面に形成された一対のソース・ドレイン領域と、
前記一対のソース・ドレイン領域で挟まれた半導体基板上に形成されたゲート絶縁膜と、
前記ゲート絶縁膜上に形成されたゲート電極と、
前記ゲート電極上に電氣的に接続され、第1の反強磁性層と、第1の強磁性層と、第1のトンネルバリア層と、第2の強磁性層と、第2のトンネルバリア層と、第3の強磁性層と、第2の反強磁性層とがこの順に積層された強磁性トンネル接合素子と、を具備することを特徴とする磁気センサー。

【請求項2】 半導体基板と、

前記半導体基板表面に形成された一対のソース／ドレイン領域と、
前記一対のソース・ドレイン領域で挟まれた半導体基板上に形成されたゲート絶縁膜と、
前記ゲート絶縁膜上に形成されたゲート電極と、
前記ゲート電極に電氣的に接続され、第1の反強磁性層と、第1の強磁性層と、トンネルバリア層と、第2の強磁性層と、第2の反強磁性層とがこの順に積層された強磁性トンネル接合素子と、
前記下地電極と前記第1の反強磁性層との間、或いは第2の反強磁性層の上に形成された抵抗層と、を具備することを特徴とする磁気センサー。

【請求項3】 接合を形成する第1導電型半導体領域と第2導電型半導体領域とを備えたダイオードと、
前記ダイオードの第1導電型半導体領域上に形成された下地電極と、
前記下地電極上に形成され、第1の反強磁性層と、第1の強磁性層と、第1のトンネルバリア層と、第2の強磁性層と、第2のトンネルバリア層と、第3の強磁性層と、第2の反強磁性層とがこの順に積層された強磁性トンネル接合素子と、を具備することを特徴とする磁気センサー。

【請求項4】 接合を形成する第1導電型半導体領域と第2導電型半導体領域とを備えるダイオードと、
前記ダイオードの第1導電型半導体領域上に形成された下地電極と、
前記下地電極上に形成され、第1の反強磁性層と、第1の強磁性層と、トンネルバリア層と、第2の強磁性層と、第2の反強磁性層とがこの順に積層された強磁性トンネル接合素子と、
前記下地電極と前記第1の反強磁性層との間、或いは第2の反強磁性層の上に形成された抵抗層と、を具備することを特徴とする磁気センサー。

【請求項5】 前記第1、第2あるいは第3の強磁性層の内の少なくとも1層が、第4の強磁性層と、その上に形成された非磁性金属層と、その上に形成された第5の

強磁性層とを含む積層膜により置換されたことを特徴とする請求項1乃至請求項4のいずれかに記載の磁気センサー。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は磁気センサーに関し、特に高密度HDD用磁気ヘッドに好適な磁気抵抗効果型磁気センサーに関する。

【0002】

【従来の技術】磁性膜を用いた磁気抵抗効果素子は、磁気センサー、磁気ヘッドなどに用いられているとともに、磁気記録素子（磁気抵抗効果メモリ）などへの応用が提案されている。これらの磁気抵抗効果素子は、外部磁界に対する感度が大きいこと、応答スピードが早いことが要求されている。

【0003】磁気抵抗効果は、磁性体に磁場を印加すると電気抵抗が変化する現象である。強磁性体を用いた磁気抵抗効果素子（MR素子）は、温度安定性に優れ、使用温度範囲が広いという特徴を有している。

【0004】また、近年、2つの磁性金属層の間に一層の誘電体を挿入したサンドイッチ膜において、膜面に垂直に電流を流し、トンネル電流を利用した磁気抵抗効果素子、いわゆる強磁性トンネル接合素子（TMR素子）が見出されている。強磁性トンネル接合は、20%以上の磁気抵抗変化率が得られるようになったことから（J. Appl. Phys. 79,4724(1996)）、磁気ヘッドや磁気抵抗効果メモリへの応用の可能性が高まってきた。

【0005】この強磁性トンネル接合は、薄い0.4nm～2.0nm厚のAl層を強磁性電極上に成膜した後、表面を純酸素または酸素グロー放電、または酸素ラジカルに曝すことによって、AlO_xからなるトンネルバリア層を形成している。

【0006】この強磁性トンネル接合素子（強磁性1重トンネル接合）では、所望の出力電圧値を得るため強磁性トンネル接合素子に印加する電圧値を増やすと磁気抵抗変化率がかなり減少するという問題（Phys. Rev. Lett. 74,3273(1995)）および、抵抗値が大きすぎるとショットノイズの影響で十分なS/N比が得られないこと、抵抗値を低くするためトンネルバリア層の厚さを薄くするとMRが小さくなってしまふことなどの問題があった。

【0007】また、上記強磁性1重トンネル接合の片一方の強磁性層に反強磁性層を付与し、片方を磁化固定層とした構造を有する強磁性1重トンネル接合が提案されている（特開平10-4227）。しかし、この強磁性トンネル接合素子（強磁性1重トンネル接合）でも、同様の問題が存在する。

【0008】また、誘電体中に分散した磁性粒子を介した強磁性トンネル接合、または、強磁性2重トンネル接合が提案されている（特願平9-260743、Phys.

Rev. B56(10), R5747(1997)、応用磁気学会誌23.4-2、(1999)、APPI. Phys. Lett. 73(19), 2829(1998))。これらにおいても、20%以上の磁気抵抗変化率が得られるようになったことから磁気ヘッドや磁気抵抗効果メモリへの応用の可能性がある。

【0009】これら強磁性2重トンネル接合では、強磁性1重トンネル接合に比べて、バイアス電圧にともなうMR比の低下が少ないため、大きな出力が得られるという特徴を有している。しかし、バリア層が2層になるためS/N比に関しては強磁性1重トンネル接合同様の

【0010】これらを解決するために、トランジスタのゲート部に強磁性体電極を設けその上にトンネルバリアを作製し、そのトンネルバリアの上に電氣的に並列に接続された第二、第三の強磁性体膜を設けた磁気抵抗効果素子が提案されている(特開平11-266043)。

【0011】しかし、この素子においては、1重トンネル接合を用いているため、バイアス電圧にともなうMR比の低下が存在し、ゲートに十分な電圧差が印加できないとともに、トンネル接合のブレークダウン等の問題が生じる可能性がある。

【0012】また、強磁性体をゲート電極に用いているため、この膜厚はエレクトロマイグレーション(EM)などの問題を防ぐにはある程度以上にはしなければならない。そのため、ゲート電極上に作製したトンネルバリアは、ゲート電極のエッジ上の部分において膜厚が不均一となり、エッジからのリーク電流が増大し、歩留まりが非常に悪くなる可能性がある。また、強磁性層をゲート配線に用いた場合、プロセス温度の上昇に伴いトランジスタの特性がばらつく問題もある。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】上述のように、磁気センサーに使用される強磁性トンネル接合素子では、所望の出力電圧値を得るため強磁性トンネル接合素子に印加する電圧値を増やすと磁気抵抗変化率がかなり減少する、あるいは磁気抵抗値が大きすぎるとショットノイズの影響で十分なS/N比が得られない、磁気抵抗値を低くするためトンネルバリア層の厚さを薄くするとMR比が小さくなってしまふなどの問題があった。

【0014】このため、強磁性トンネル接合素子とトランジスタを組み合わせた磁気センサーが提案されているが、上記の強磁性トンネル接合素子の問題点が解決されておらず、また組み合わせ構造に起因する問題もある。

【0015】本発明は、上記の問題を解決するためになされたものであり、大容量HDD用に好適で信頼性の高い磁気抵抗効果型磁気センサーを提供することを課題としている。

【0016】

【課題を解決するための手段】上記の課題を解決するために、本発明の第1の磁気センサーは、半導体基板と、

前記半導体基板表面に形成された一対のソース・ドレイン領域と、前記一対のソース・ドレイン領域で挟まれた半導体基板上に形成されたゲート絶縁膜と、前記ゲート絶縁膜上に形成されたゲート電極と、前記ゲート電極に電氣的に接続され、第1の反強磁性層と、第1の強磁性層と、第1のトンネルバリア層と、第2の強磁性層と、第2のトンネルバリア層と、第3の強磁性層と、第2の反強磁性層とがこの順に積層された強磁性トンネル接合素子とを具備することを特徴とする。

【0017】本発明の第2の磁気センサーは、半導体基板と、前記半導体基板表面に形成された一対のソース・ドレイン領域と、前記一対のソース・ドレイン領域で挟まれた半導体基板上に形成されたゲート絶縁膜と、前記ゲート絶縁膜上に形成されたゲート電極と、前記ゲート電極に電氣的に接続され、第1の反強磁性層と、第1の強磁性層と、トンネルバリア層と、第2の強磁性層と、第2の反強磁性層とがこの順に積層された強磁性トンネル接合素子と、前記下地電極と前記第1の反強磁性層との間、或いは第2の反強磁性層の上に形成された抵抗層とを具備することを特徴とする。

【0018】本発明の第3の磁気センサーは、接合を形成する第1導電型半導体領域と第2導電型半導体領域とを有するダイオードと、前記ダイオードの第1導電型半導体領域上に形成された下地電極と、前記下地電極上に形成され、第1の反強磁性層と、第1の強磁性層と、第1のトンネルバリア層と、第2の強磁性層と、第2のトンネルバリア層と、第3の強磁性層と、第2の反強磁性層とがこの順に積層された強磁性トンネル接合素子とを具備することを特徴とする。

【0019】本発明の第4の磁気センサーは、接合を形成する第1導電型半導体領域と第2導電型半導体領域とを有するダイオードと、前記ダイオードの第1導電型領域上に形成された下地電極と、前記下地電極上に形成され、第1の反強磁性層と、第1の強磁性層と、トンネルバリア層と、第2の強磁性層と、第2の反強磁性層とがこの順に積層された強磁性トンネル接合素子と、前記下地電極と前記第1の反強磁性層との間、或いは第2の反強磁性層の上に形成された抵抗層とを具備することを特徴とする。

【0020】

【発明の実施の形態】以下図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。

【0021】(第1の実施形態)図1は本発明の第1の実施形態に係る磁気抵抗効果型磁気センサーの原理を説明するための等価回路図である。図1(a)では、トンネル磁気抵抗素子(TMR素子)1の一端がMOSFET2のゲートに接続され、TMR素子1にはその他端から定電流*i*を流す。TMR素子1の他端を例えば接地電位とし、TMR素子の一端の電位(MOSFET2のゲート電位)がMOSFET2の閾値電圧以下であれば、M

OSFET 2 は非導通であり、閾値電位以上になれば MOSFET 2 は導通する。即ち、TMR 素子 1 の僅かな抵抗変化を MOSFET 2 により増幅することができる。

【0022】図 1 (b) は、TMR 素子 1 に直列に調整用抵抗 3 を接続したもので、MOSFET 2 の閾値電圧近傍にゲート電圧の動作点を合わせるための調整を可能にした例である。

【0023】図 2 は、本発明の第 1 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子 10 の模式的な斜視図である。MOSFET 2 は半導体基板 11 に形成されたソース領域 12、ドレイン領域 13、ゲート絶縁膜 16 を介して形成されたゲートとしての下地電極 20 により構成されている。参照番号 14、15 は夫々ソース電極、ドレイン電極であり、18 は下地電極 20 に接続されたゲート取り出し電極である。

【0024】TMR 素子 1 は下地電極 20 上にゲート引き出し電極 18 と隣接しかつ離隔して形成され、その上面には定電流を流し込むバイアス電極 17 が形成されている。また、図示はしていないが、TMR 素子 1 と下地電極 20 或いはバイアス電極 17 との間にゲート電圧調整用の抵抗膜を備えることができる。

【0025】図 3 は、TMR 素子 1 の層構成を説明するための断面図である。半導体基板 11 には、ソース・ドレイン領域 12、13 が形成され、このソース・ドレイン領域 12、13 に挟まれた領域上にはゲート絶縁膜 16 を介して下地電極 20 が形成されている。下地電極 20 は、少なくともソース・ドレイン領域 12、13 に挟まれた半導体基板の領域上に形成されていることが望ましい。

【0026】下地電極 20 の上面の 1 領域には TMR 素子 1 が形成されている。この例では、TMR 素子 1 は、下地電極 20 上に抵抗調整膜 25 を介して順次形成された反強磁性層 21、強磁性層 (磁気固着層) 22、トンネルバリア層 23、強磁性層 (記録層) 22 から構成されている。強磁性層 22 の上には、バイアス電極 17 が形成されている。抵抗調整膜 25 は下地電極 20 上に必ずしも形成する必要は無く、TMR 素子 1 とバイアス電極 17 の間、或いはバイアス電極 17 につながる回路部に設けてもよい。或いは抵抗調整膜 25 を設けなくてもよい。

【0027】下地電極 20 の他の領域には、ゲート引出し電極 18 が形成されている。ゲート引出し電極 18 は、TMR 素子 1 の反強磁性層 21、あるいは強磁性層 22/反強磁性層 21 をゲート引出し電極 18 の下部まで延在させ、これらを介して接続するようにしてもよい。

【0028】図 3 では、TMR 素子 1 として、反強磁性層を磁気固着層側の 1 層だけとしたが、フリー層側の一部に、もう 1 層設けてもよい。また、図 3 では強磁性 1

重トンネル接合を示したが、図 4 に示すように、強磁性 2 重トンネル接合としてもよい。

【0029】即ち、図 4 の TMR 素子は、反強磁性層 31/強磁性層 (固着層) 32/トンネルバリア層 33/強磁性層 (記録層) 34/トンネルバリア層 35/強磁性層 (磁気固着層) 36/反強磁性層 37 からなる強磁性 2 重トンネル接合構造を有する。

【0030】また、上記の強磁性層の少なくとも 1 層を強磁性層/非磁性層/強磁性層の 3 層構造としてもよい。図 5 は、図 4 の強磁性層 32 を強磁性層 32-1/非磁性層 38/強磁性層 32-2 とした例である。

【0031】本実施形態では、図 3 に示したように MOSFET 2 のゲート部に下地電極層を介して強磁性トンネル接合/抵抗調整膜の積層膜が配置されている。上記構造において、下地電極層は、磁性体の拡散が抑えられれば良く、Ti、Ta、W またはこれらの金属の酸化膜、または窒化膜などを用いることができる。これらを設けることによって、ゲート部に磁性体を付与しても、MOSFET 2 のゲート部形成後の 300℃ 以上のアニールプロセスにおいて特性が変動することが無く、信頼性の高い磁気センサーを提供することができる。

【0032】強磁性トンネル接合の記録層のスピンが媒体等の漏れ磁場により方向を変え、磁気固着層のスビンの方向との相対的な角度が変化するため、TMR 素子 1 の磁気抵抗が変化する。この抵抗変化が MOSFET 2 のゲート電圧を変化させ、ソース・ドレイン間の電流が大きく変化する。このようにして、S/N 比の大きい磁気センサーを提供することができる。

【0033】図には示していないが、バルクハウゼンノイズを少なくするために、CoPt などのハードバイアス層または、反強磁性層を強磁性トンネル接合の記録層の一部に付与することが好ましい。また、HDD 用読み出しヘッドとして用いる場合は、図 3 の上下には Ni-Fe などのシールド層を設けて、記録ヘッドとの磁気シールドとする。

【0034】次に、具体例として図 4 の TMR 素子を図 3 の磁気センサーに適用した例を説明する。強磁性トンネル接合は、強磁性 2 重トンネル接合構造、即ち反強磁性層 31/強磁性層 32/バリア層 33/強磁性層 34/バリア層 35/強磁性層 36/反強磁性層 37 とし、 $\text{Ir-Mn}/\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30}/\text{AlOx}/(\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30})_{80}\text{Ni}_{20}/\text{AlOx}/\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30}/\text{Ir-Mn}$ の積層体を MOSFET 2 のゲート部の W の窒化膜からなる下部電極 20 上に作製した。上記構造において、トンネルバリア層 33、35 は、金属 Al を成膜後プラズマ酸化を行って作製した。

【0035】上記の試料に関し、MOSFET 2 のドレイン・ソース間電流の相対値 I_d の変化を図 6 に示す。図示のように、フリー層のスビンの方向に応じて、MR 変化率は $10^5\%$ オーダーもの大きな変化を示し、本特

許の有効性が確認された。

【0036】(第2の実施形態)図7は本発明の第2の実施形態に係る磁気センサーの原理を説明するための等価回路図である。図7(a)では、トンネル磁気抵抗素子(TMR素子)1の一端がダイオード4のアノードに接続され、TMR素子1には定電流*i*を流す。TMR素子1の他端を例えば接地電位とし、TMR素子の一端の電位(ダイオード4のアノード電位)とダイオードのカソード電位の差がダイオード4の閾値電圧以下であれば、ダイオード4は非導通であり、閾値電圧以上になればダイオード4は導通する。即ち、TMR素子1の僅かな抵抗変化をダイオード4の順方向電流の立ち上がりカーブを利用して増幅することができる。

【0037】図7(b)は、TMR素子1に直列に調整用抵抗3を接続したもので、ダイオード4の閾値電圧近傍に動作点を合わせるために調整を可能にした例である。

【0038】図7ではTMR素子1の一端をダイオード4のアノード側に接続したが、カソード側に接続してもよい。即ち、TMR素子はダイオードの第1導電型半導体領域でも第2導電型半導体領域でも接続することができる。

【0039】図8は、本発明の第2の実施形態に係る磁気センサー50の模式的な斜視図である。ダイオード4は半導体基板51に形成されたアノード(p+)領域52、カソード(n+)領域53により構成されている。アノード(p+)領域52とカソード(n+)領域53は、その境界部でpn接合を形成している。参照番号54、55は、夫々カソード電極、アノード電極である。

【0040】TMR素子1はアノード領域52上に下部電極57を介して、アノード電極55と隔離して形成され、その上面には定電流を流し込むバイアス電極56が形成されている。なお、図示はしていないが、TMR素子1と下地電極57或いはバイアス電極56との間に電圧調整用の抵抗膜を備えることができる。

【0041】図9は、TMR素子1の層構成を説明するための断面図である。半導体基板51には、p型領域52とその中にn型領域53が形成され、p型領域52上には下地電極57が形成されている。

【0042】下地電極57の上面の1領域には、第1の実施形態の図3に示されたと同じTMR素子1が形成されている。即ち、TMR素子1は、下地電極57上に抵抗調整膜25を介して順次形成された反強磁性層21、強磁性層(磁気固着層)22、トンネルバリア層23、強磁性層(記録層)22から構成されている。強磁性層22の上には、バイアス電極56が形成されている。抵抗調整膜25は下地電極57上に必ずしも形成する必要はなく、TMR素子1とバイアス電極56の間、或いはバイアス電極56につながる回路部に設けてもよい。或いは抵抗調整膜25を設けなくてもよい。

【0043】下地電極57の他の領域には、アノード電極55が形成されている。アノード電極55は、TMR素子1の反強磁性層21、あるいは強磁性層22/反強磁性層21をゲート引出し電極18の下部まで延在させ、これらを介して接続するようにしてもよい。

【0044】図9では、TMR素子1として、反強磁性層を磁気固着層側の1層としたが、フリー層側の一部に、もう1層設けてもよい。また、図9では強磁性1重トンネル接合を示したが、図4または図5に示したような、強磁性2重トンネル接合としてもよい。

【0045】第2の実施形態の変形例として、図10、図11に示すように構成しても良い。この変形例では、プレーナ型のダイオードに代えて、アモルファスダイオード61を用いているところに特徴がある。即ち、カソード電極64の上にはアノード層62、カソード層63からなるアモルファスダイオード61が形成されている。アノード層62の上部には、下地電極67を介してTMR素子1とアノード電極65が隔離して形成されている。TMR素子1の上部にはバイアス電極66が形成されている。このように、アモルファスダイオードを使用すれば小型で安価な磁気センサーが実現できる。

【0046】本実施形態では、図8または図10に示したように、ダイオードのアノード上に下地電極を介して強磁性トンネル接合または、強磁性トンネル接合/抵抗体層積層膜が配置されている。上記構造において、下地電極層は、磁性体の拡散が抑えられれば良く、Ti、Ta、W、あるいはこれらの酸化膜または窒化膜などを用いることができる。これらを設けることによってダイオードの上面に磁性体を付与しても、プロセスの熱工程を経ても特性の変動が無く、信頼性の高い磁気センサーを提供することができる。

【0047】ダイオードを用いる方が、MOSFETを用いる場合に比べて製造コストが安く安価な磁気センサーを作製出来る。強磁性トンネル接合の記録(フリー)層のスピンが媒体等の漏れ磁場により方向を変え、磁気固着層のスピン方向との相対的な角度が変化するため、磁気抵抗が変化する。この磁気抵抗変化をダイオードの閾値近傍の電圧変化としてダイオードに印加すれば、ダイオードに流れる電流が大きく変化し、S/N比の高い磁気センサーが提供できる。

【0048】図には示していないが、バルクハウゼンノイズを少なくするために、CoPtなどのハードバイアス層または、反強磁性層を強磁性トンネル接合のフリー層の一部に付与することが好ましい。また、HDD用読み出しヘッドとして用いる場合は、図8、図10の磁気センサーの上下にはNi-Feなどのシールド層を設けて、記録ヘッドとの磁気シールドとする。

【0049】TMR素子1としては、第1の実施形態と同様に、図4、図5に示したスピンバルブ型強磁性2重接合構造を用いることが望ましい。

【0050】次に、具体例として図4のTMR素子を図8の磁気センサーに適用した例を説明する。強磁性トンネル接合は、強磁性2重トンネル接合構造、即ち反強磁性層31/強磁性層32/バリア層33/強磁性層34/バリア層35/強磁性層36/反強磁性層37として、Pt-Mn/C_{0.70}Fe_{0.30}/AlO_x/Ni₄₀(C_{0.90}Fe_{0.10})₆₀/AlO_x/C_{0.70}Fe_{0.30}/Pt-Mnの積層体をダイオード4のアノード上のTa層からなる下地電極57上に作製した。上記構造において、トンネルバリア層33、35は、金属Alを成膜後プラズマ酸化を行って作製した。

【0051】上記の試料に関し、ダイオード4の順方向電流の相対値I_dの変化を図12に示す。図示のように、記録(フリー)層のスピンの方向に応じて、MR変化率は10⁶%オーダーもの大きな変化を示し、本特許の有効性が確認された。

【0052】上記の第1および第2の実施形態における強磁性トンネル接合としては、図4、図5に示したように反強磁性層を付与するいわゆるスピンプルブ型にすることが好ましい。

【0053】また、上記磁気固定層(ピン層)は、(強磁性層/非磁性層/強磁性層)の3層構造で非磁性層を介して反強磁性結合をしているいわゆる反強磁性結合記録層を用いることができる。この3層構造をピン層として用いることにより、より強固にピン層のスピンを固定することができるため、何度かの読み出しによって磁気固定層の一部の磁気モーメントが回転してしまい出力が徐々に低下してしまうという問題が完全になくすること、反強磁性膜の膜厚を薄くでき加工精度が上がることなどのメリットがあり、ピン層からのバイアス磁場も減少するため、バイアスポイントのバラツキが減少する。

【0054】また、磁気記録層(フリー層)も(強磁性層/非磁性層/強磁性層)の3層構造を用いることが好ましい。この場合、強磁性層間に強磁性層結合があることが好ましい。この構造を磁気フリー層に用いると、セル幅を小さくしても良好な感度が得られる。即ち、セル幅を小さくしても磁場応答を大きく保つことができる。強磁性結合の強さは弱い方が好ましく、弱いほど磁場応答が良好となる。

【0055】また、第1および第2の実施形態の場合、ピン層のスピンのフリー層のスピンは、上から見たときに略直交していることが望ましい。

【0056】本発明の強磁性層の元素の種類には特に制限はなく、Fe、Co、Niまたはそれら合金、スピント分極率の大きいマグネタイト、CrO₂、R_xMnO_{3-y}(R:希土類、X:Ca、Ba、Sr)などの酸化物の他NiMnSb、PtMnSbなどのホイスラー合金、Zn-Mn-O、Ti-Mn-O、CdMn₂P₂、ZnMn₂P₂などの磁性半導体を用いることができる。

【0057】本発明の強磁性層の膜厚は超常磁性になら

ない程度の厚さが必要であり、0.4nm以上であることが好ましい。また、あまり厚いと磁場感度が小さくなり、漏れ磁場が大きくなってしまうため、3.0nm以下で有ることが好ましい。また、これら磁性体にはAg、Cu、Au、Al、Mg、Si、Bi、Ta、B、C、O、N、Pd、Pt、Zr、Ir、W、Mo、Nbなどの非磁性元素が多少含まれていても強磁性を失わないかぎり良い。

【0058】反強磁性膜は、Fe-Mn、Pt-Mn、Pt-Cr-Mn、Ni-Mn、Ir-Mn、NiOなどを設けることができる。フリー層に強磁性層/非磁性層/強磁性層の3層膜を用いる場合、その非磁性層としては、Cu、Au、Ru、Ir、Rh、Agなどを用いることができる。

【0059】誘電体または絶縁層としては、Al₂O₃、SiO₂、MgO、AlN、AlON、GaO、Bi₂O₃、SrTiO₂、AlLaO₃などの様々な誘電体を使用することができる。これらは、酸素、窒素欠損が多少存在していてもかまわない。

【0060】誘電体層の厚さはTMR素子の接合面積に依存し、3nm以下であることが好ましい。基板上には、下地層、保護層として、Ta、Ti、W、Pt、Pd、Au、Ti/Pt、Ta/Pt、Ti/Pd、Ta/Pdなどを用いることが好ましい。

【0061】このような磁気抵抗効果素子は、各種スパッタ法、蒸着法、分子線エピタキシャル法などの通常の薄膜形成装置を用いれば作製することができる。

【0062】(第3の実施形態)第3の実施形態では、本発明の磁気センサーを磁気ヘッドに応用した例を説明する。

【0063】図13は、本発明の磁気センサー10を搭載した磁気ヘッドアセンブリの斜視図である。アクチュエータアーム101は、磁気ディスク装置内の固定軸に固定されるための穴が設けられ、図示しない駆動コイルを保持するボビン部等を有する。アクチュエータアーム101の一端にはサスペンション102が固定されている。サスペンション102の先端には信号の書き込み、および読み取り用のリード線104が配線され、このリード線104の一端はヘッドスライダ103に組み込まれた磁気センサー10の各電極に接続され、リード線104の他端は電極パッド105に接続されている。なお、磁気センサー10は第1の実施形態のセンサーであるが、第2の実施形態の磁気センサー50、60であってもよい。

【0064】図14は、図13に示す磁気ヘッドアセンブリを搭載した磁気ディスク装置(磁気再生装置)の内部構造を示す斜視図である。磁気ディスク111はスピンドル112に装着され、図示しない駆動装置制御部からの制御信号に応答する図示しないモータにより回転する。

【0065】アクチュエータアーム101は固定軸113に固定され、サスペンション102およびその先端のヘッドスライダ103を支持している。磁気ディスク111が回転すると、ヘッドスライダ103の媒体対向面は磁気ディスク111の表面から所定量浮上した状態で保持され、情報の記録再生を行う。

【0066】アクチュエータアーム101の基端にはリニアモータの一種であるボイスコイルモータ114が設けられている。ボイスコイルモータ114はアクチュエータアーム101のボビン部に巻き上げられた図示しない駆動コイルとこのコイルを挟み込むように対向して配置された永久磁石および対向ヨークからなる磁気回路とから構成されている。

【0067】アクチュエータアーム101は、固定軸113の上下2箇所に設けられた図示しないボールベアリングによって支持され、ボイスコイルモータ114により回転摺動が自在にできるようになっている。

【0068】上記のように本発明の磁気センサーを使用した磁気ヘッドあるいは磁気再生装置は、磁気センサーから高出力信号が得られるので、安定した動作と100 Gbit/in²以上の大容量化が可能になる。

【0069】

【発明の効果】本発明によれば、出力信号電圧が大きく信頼性の高い磁気センサーが得られるので、100 Gbit/in²以上の大容量磁気記録装置が実現できる。

【0070】また、MOSFETを用いる場合、ゲート部は金属または金属酸化物からなるゲート電極（下地電極）を用いるので熱安定性が良く、ゲート電極上にそのエッジ部に懸かることなくTMR素子を作製するので、ゲートエッジからのリーク電流も抑制できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る磁気センサーの等価回路図。

【図2】第1の実施形態に係る磁気センサーの模式的な斜視図。

【図3】第1の実施形態に係る磁気センサーの模式的な断面図。

【図4】本発明の磁気センサーに使用する他のTMR素子の層構成を示す断面図。

【図5】本発明の磁気センサーに使用する更に他のTMR素子の層構成を示す断面図。

【図6】第1の実施形態の磁気センサーの出力信号特性を示す図。

【図7】本発明の第2の実施形態に係る磁気センサーの等価回路図。

【図8】第2の実施形態に係る磁気センサーの模式的な斜視図。

【図9】第2の実施形態に係る磁気センサーの模式的な断面図。

【図10】第2の実施形態の変形例に係る磁気センサーの模式的な斜視図。

【図11】第2の実施形態の変形例に係る磁気センサーの模式的な断面図。

【図12】第2の実施形態の磁気センサーの出力信号特性を示す図。

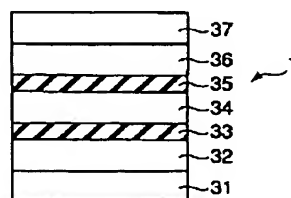
【図13】本発明の第3の実施形態に係る磁気ヘッドの模式的な斜視図。

【図14】第3の実施形態の磁気ヘッドを搭載した磁気記録装置の模式的な斜視図。

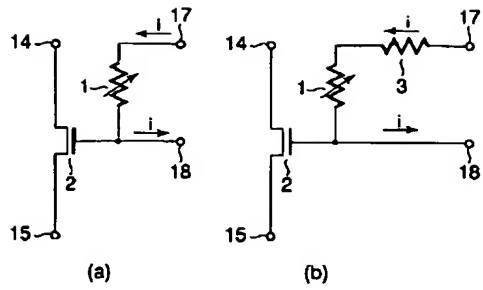
【符号の説明】

- 1…TMR素子
- 2…MOSFET
- 3…調整抵抗
- 4…ダイオード
- 10、50、60…磁気センサー
- 11、51…半導体基板
- 12、13…ソース・ドレイン領域
- 14、15…ソース・ドレイン電極
- 16…ゲート絶縁膜
- 17、56、66…バイアス電極
- 18…ゲート引出し電極
- 20、57、67…下地電極
- 21、31、37…反強磁性層
- 22、24、32、32-1、32-2、34、36…強磁性層
- 23、33、35…トンネルバリア層
- 25…調整抵抗層
- 38…非磁性層
- 52、62…アノード層
- 53、63…カソード層
- 54、64…カソード電極
- 55、65…アノード電極

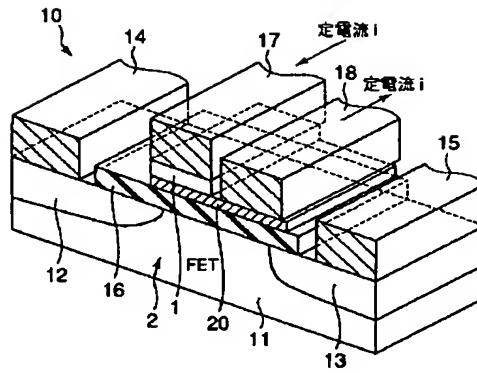
【図4】



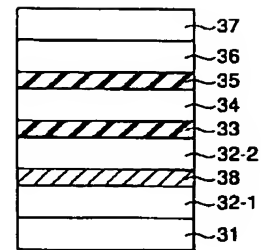
【図 1】



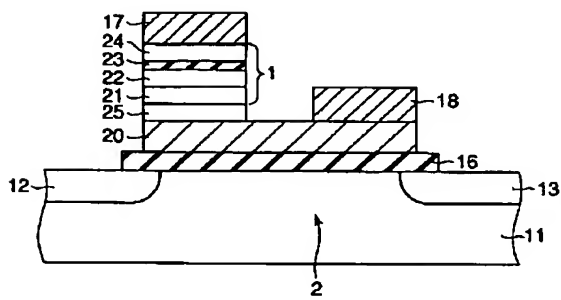
【図 2】



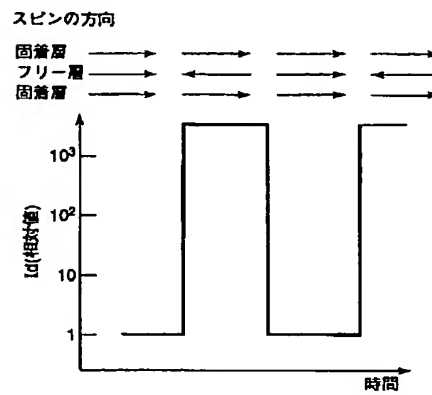
【図 5】



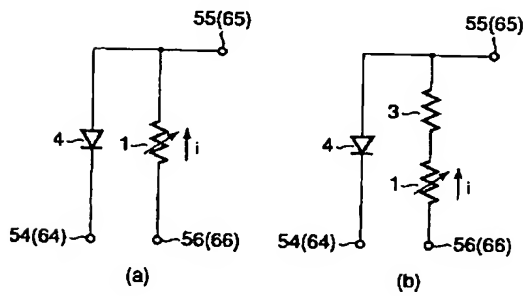
【図 3】



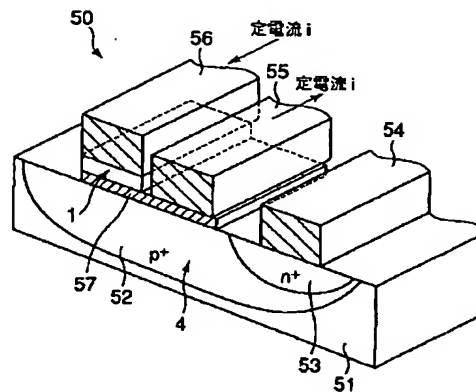
【図 6】



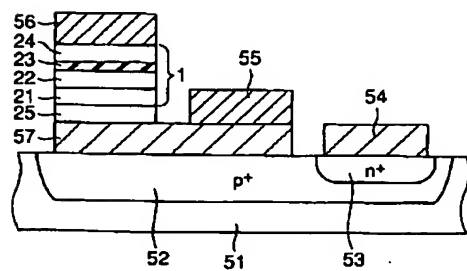
【図 7】



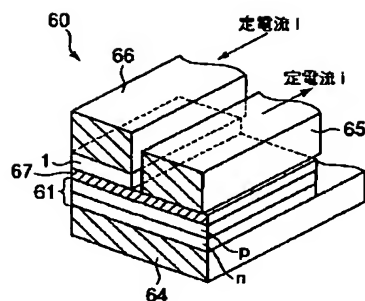
【図 8】



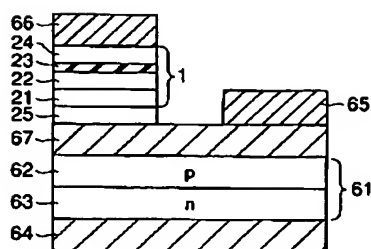
【図 9】



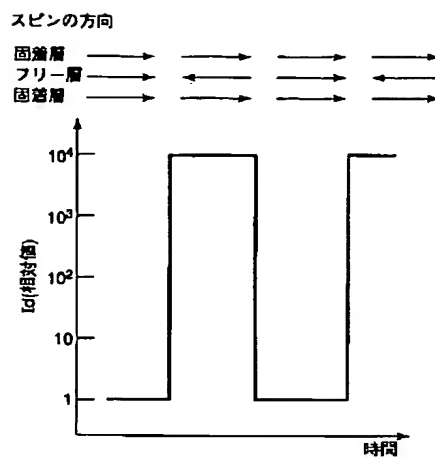
【図 10】



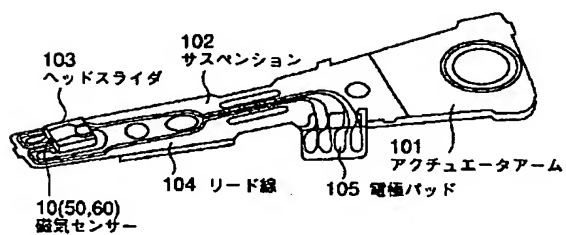
【図 11】



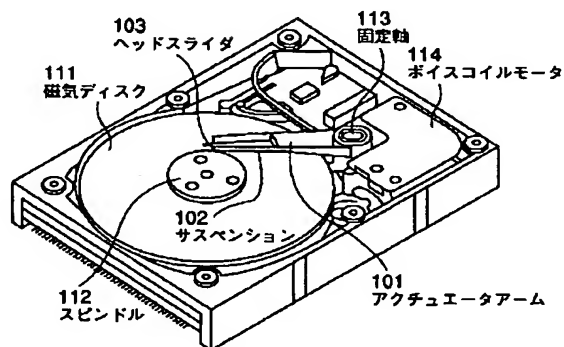
【図 12】



【図 13】



【図 14】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2G017 AA10 AD55
 5D034 BA03 BA05 BA08 BA12 BA15
 BA16 BB14 CA04 CA08
 5E049 BA12 BA16 CB02 DB10 DB12